“一带一路”关键节点区域极端气候风险评价及应对策略

葛 咏[1*] 李强子[2] 凌 峰[3] 张 源[2] 姚永慧[1] 刘庆生[1] 董 文[2] 吴 骅[1] 李 毅[2] 任周鹏[1]

1 中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101
2 中国科学院空天信息创新研究院 北京 100094
3 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院 武汉 430071

摘要 在全球气候变化的大情景下，高温热浪、极端降水、极端干旱和风暴潮事件在“一带一路”沿线大部分区域均呈增强趋势，严重威胁“一带一路”沿线国家的人身和财产安全。文章针对“一带一路”沿线区域极端气候事件风险识别与评价工作中存在的评估尺度粗且单一、应对策略薄弱等问题，围绕极端干旱、极端降水、高温热浪、风暴潮4类代表性极端气候事件，建立了多尺度极端气候风险评估技术体系，完成了千米、百米和十米尺度的风险评估工作，实现了对“一带一路”沿线区域4类极端气候风险的空间分布、发展趋势、主要影响因素的把握，为更合理、有效地应对灾害，减少和转移灾害风险，减少人身和财产损失等提供科学支撑。

关键词 风险评估，精细尺度，极端气候风险，“一带一路”，关键节点

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20201023001

20世纪末以来，人为温室气体和气溶胶排放造成了以气候变暖为主要特征的全球气候系统显著变化[1,2]，高温热浪、极端降水、极端干旱、风暴潮等极端气候事件出现的频率和幅度均大幅增加[3]。极端气候事件已成为国际关注的重大议题，更是17个联合国可持续发展目标（SDGs）之一[4]。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）在第4次、第5次评估报告中均对全球极端气候事件进行了重要分析和判断，并于2013年专门发布了《管理极端事件和灾害风险促进气候变化适应特别报告》[3,5,6]。作为当前人类面临的最大全球风险之一，国内外科研组织和机构积极参与极端气候事件的风险识别与评估，在国家、行政区划或0.5°—1°网格单元尺度上发布风险评估结果[7-9]。

“一带一路”倡议是新时期世界走向共赢的重要

*通讯作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA20030302）
修改稿收到日期：2021年1月28日

合作平台。随着全球气候变化加剧，"一带一路"沿线区域年平均气温持续上升，年降水量增加，高温热浪、极端降水、极端干旱和风暴潮事件在"一带一路"沿线大部分区域均呈增强趋势[3,10]；这些事件对"一带一路"沿线国家人民的生活和社会经济发展带来了严重影响，成为"一带一路"建设面临的重大挑战。因此，亟待开展"一带一路"沿线区域高温热浪、极端降水、极端干旱和风暴潮等典型极端气候风险评估和应对的科学研究，发展精细尺度的极端气候事件风险识别及评估方法体系，弄清灾害发生的时空规律、主导影响因素、可能趋势、风险水平，并针对性地提出关键节点区域应对灾害事件措施和对策建议，提供区域灾害防治信息服务和示范。

开展"一带一路"沿线区域精细尺度极端气候事件风险识别与评估工作需要克服 3 个方面突出问题：① 现有 0.5°—1° 网格单元、行政区划、国家或更粗尺度上的评估结果，无法详细揭示极端气候风险的空间异质性，难以有效指导"一带一路"沿线区域极端气候事件的风险应对，以及重大工程的投资招商、建设和运营管理。② 区域发展整体相对落后，数据稀少，难以获取多层次、多维度的评估资料。可供使用的数据面临时空连续性差、粒度粗、口径单一等"短板"。③ 现有工作均是针对某一灾害事件的独立评估，存在评价单元、评价指标和评价方法的多样性，难以统一借鉴和比较，更无法进行风险的综合把握。

本研究主要针对上述问题，面向高温热浪、极端干旱、极端降水和风暴潮 4 种典型极端气候事件，通过数据采集方法创新、评估指标和评估方法统一构建，开展多尺度极端气候事件风险评估，为深入理解"一带一路"沿线区域极端气候风险和应对途径提供了可能，也为"一带一路"沿线国家的重大工程建设规划与运营管理、环境问题应急与防治提供科学依据和对策建议。

1 "一带一路"关键节点区域极端气候风险识别与评价

1.1 评价方法

联合国政府间气候变化专门委员会、联合国减灾办公室（UNDRR）和世界银行全球减灾与恢复基金（GFDRR）等全球合作组织均将极端气候事件风险看作是危险性、暴露度和脆弱性的组合[3,11,12]。本研究基于此认识，通过发展精细尺度本底和风险要素数据集，分析了 4 类代表性极端气候事件的致灾因子、孕灾环境和承灾体，筛选建立了千米、百米和十米共 3 个尺度的危险性、暴露度和脆弱性指标体系，开展了多尺度风险评估，支持相应灾害应对方案的编制（图 1）。

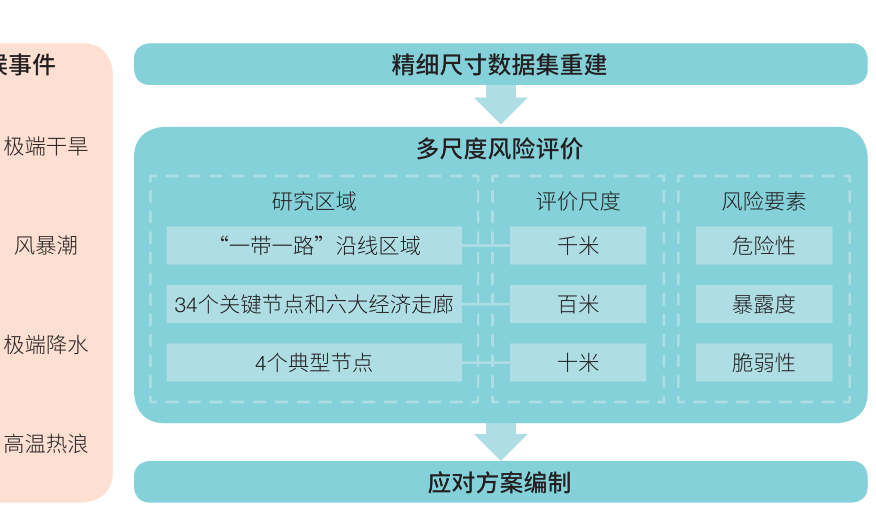
① 开展"一带一路"沿线区域千米尺度的风险评估，以期对全范围的灾害风险进行时空规律、关键影响因素和发展趋势的把握；② 基于战略位置、经济实力、文化影响力、风险规避等考虑选取重点城市、港口、重大工程等，在 34 个关键节点区域和六大经济走廊开展百米尺度风险评估，以探究"一带一路"沿线重点区域风险发生的危险状况，以及承灾体和孕灾环境的灾害特性；③ 选择汉班托塔港、卡拉奇、达卡和吉大港 4 个典型节点区域，面向灾害应对，开展十米尺度的风险评估，详细分析承灾体的时空暴露和脆弱特性，以及孕灾环境因素的缺陷，以支撑有针对性和实用性的应对方案编制。

1.2 精细尺度数据集构建

开展精细尺度极端气候事件风险评估，需要全面准确地获取致灾因子、孕灾环境和承灾体等要素数据集，并反映不同尺度主导风险因素导致的指标体系差异，明确各项指标的时间、空间和精度要求。例如，在大尺度风险评估中，可以利用全球/局域气候模式及再分析资料来提取气温、降水等致灾因子，利用区域人口和国内生产总值（GDP）统计数据来表征承灾

体。随着评估尺度细化，这些粗粒度的数据将难以充分表达致灾因子、孕灾环境和承灾体的时空差异，因此就需要通过新的技术与方法来获取更高分辨率和精度的数据集。精细尺度数据集构建主要涉及以下关键技术与方法[13-15]。

（1）粗粒度数据降尺度。极端气候事件风险评估所需的细粒度（如 10 米）数据集，如气温、降雨气象数据，以及人口、GDP 等社会经济数据，通常无法直接获取。因此，通常需要利用已有的粗粒度数据集，结合精细尺度的辅助数据，发展相应的空间尺度转换理论模型和方法，通过降尺度生成细粒度的栅格数据，实现与其他细粒度数据进行有效集成与计算[16-19]。例如，以行政单元统计的人口数据为原始数据，结合兴趣点（POI）密度、路网密度、不透水率和夜间灯光等精细尺度的辅助变量，利用地理加权回归考虑空间异质性对趋势项进行建模与预测，并利用面到点克里金插值考虑不规则单元的形状和大小对残差项进行空间分配，从而实现从不规则人口统计数据到千米尺度和百米尺度下的栅格人口数据集[16]。由此所得千米尺度与百米尺度栅格人口数据的平均相对准确度分别为 78.4% 和 80.7%。



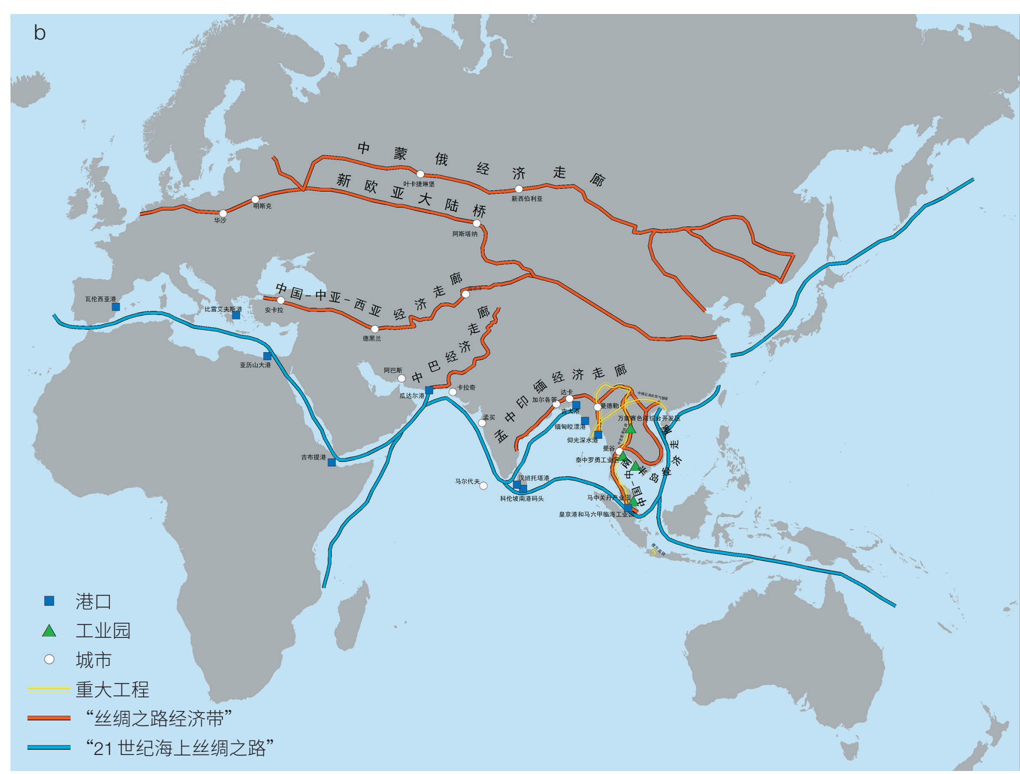


图 1　极端气候事件风险评估框架（a）及评估区域（b）

Figure 1　Risk assessment framework of extreme climatic events (a) and assessment area (b)

（2）遥感信息提取。利用国内外高分辨率遥感影像，包括我国高分卫星等数据，结合海外观测站和科教中心，融合无人机和地面观测数据，有效地获取关键节点的地表要素监测数据；同时，遥感大数据智能分析[20]、时空融合[21]等相关技术可有效参与孕灾环境和承灾体等数据的快速精准提取。例如，利用研究区多时相的“哨兵 2 号”（Sentinel-2）卫星多光谱遥感数据，通过面向对象分类方法，提取了关键节点区域 2018 年十米空间分辨率的承灾体数据集；经实地

野外考察验证表明，承灾体分类精度可以达到80%以上，能够满足后续风险评估需求。

（3）网络信息智能挖掘。基于国内外互联网的信息资源，通过开发网络数据爬虫工具，根据关键字信息对互联网海量信息自动抓取，实现各类极端气候事件相关的自然过程、人文与发展数据快速获取；然后，通过对不同形式和结构的数据进行主题解析、文本内容分析与提取，获取包括重大自然灾害及其影响、关键节点重大事件及其影响等时空数据集。

1.3 风险要素与多尺度评价指标

采用统一的危险性、暴露度、脆弱性风险要素评估指标体系框架[3,11,12]，通过分析极端干旱、极端降水、高温热浪、风暴潮4类极端气候事件的致灾因子（如大尺度的全球气候变暖和小尺度的局部强对流天气）、强度和效应（如大尺度的极端干旱和小尺度的强降水）在千米、百米和十米3个尺度的典型特点[22]，分别建立相应的风险评估指标体系。

（1）致灾因子危险性。危险性是指在某个特定地点发生某种极端气候事件的可能性和严重程度。危险性通常基于对历史极端气候事件发生规律的分析，确定事件发生概率、强度、持续时间等相关指标进行评估。例如，极端降水危险性指标采纳了气候变化检测和指数联合专家组（ETCCDI）提出的最大1日降水量、最大5日降水量、中雨日数、大雨日数、暴雨日数、强降水量、极强降水量等多种极端降水指数，既能捕捉到短时降水强度大的典型极端降水事件危险性，又捕捉到短时降水强度适中但降水持续时间长的非典型极端降水事件的危险性。

（2）承灾体暴露度。暴露度是指处在有可能受到不利影响位置的人员、生计、环境服务和各种资源的数量。人口和经济是风险评估最常考虑的暴露度指标。由于4类极端气候事件的承灾体不同，暴露度指标也有所差异。例如：极端干旱暴露度指标中除了人口和经济外，还考虑了牧业系统和天然生态系统的产草量、载畜量等暴露数量；而风暴潮的主要承灾体集中在海上及近海区域，暴露度指标还包括船舶数量、港口器械、港口货物等。

（3）孕灾环境脆弱性。脆弱性是指决定受到不利影响的倾向或趋势的物理、社会、经济、环境、文化、制度等因子。暴露的人口和经济由于其脆弱性的差异，其遭受的不利影响或损失也会有所不同。4类极端气候事件的脆弱性指标根据各灾种的不同特点而进行了差异性设计。例如，不同年龄段、性别和区域的人群对高温热浪的敏感性差别较大，但人群年龄对其他灾种并不敏感。因此，不同高温热浪危险性对不同区域、不同年龄和性别群体致病率和致死率是高温热浪独有的脆弱性指标。再如，极端干旱是一类长期、缓慢演进的极端气候事件，并不直接威胁人的生命安全，而是通过粮食和畜产品减产，加速生态环境恶化和引发火灾等其他自然灾害等方式间接造成危害。因此，极端干旱的脆弱性指标中并未考虑距离医院距离、道路密度、应急设施密度等通常的防灾减灾指标，而是将水资源损失率、农业灌溉能力、产草量和牲畜损失率等影响极端干旱危害程度的指标作为脆弱性指标。

1.4 多尺度风险评估

基于多尺度风险评价指标，分别在千米、百米和十米3个代表性尺度开展评估工作，以凸显不同尺度的主导致灾因子和承灾体特性，满足不同尺度的风险管理需要。千米尺度风险评价主要面向"一带一路"沿线区域开展，与国际上现有的粗尺度（如0.5°）结果相比更具空间异质性细节，能够更精准把握灾害风险的总体时空格局、趋势和影响因素，从而支撑绿色"一带一路"建设空间路线图的研究和联合国可持续发展目标的实现。更精细的百米和十米尺度风险评估则重点考虑致灾因子和灾害防范能力的区域微观特征，能够支持更有效的灾害风险管理和应急预案制定，以及更可靠的应急疏散等规划。

图 2 “一带一路”沿线千米尺度风暴潮（a）、极端降水（b）、高温热浪（c）和极端干旱（d）风险
Figure 2 One-km resolution risk of storm surge (a), extreme precipitation (b), heat wave (c) and extreme drought (d) in the Belt and Road area

2 “一带一路”关键节点区域风险评估图

在中国科学院战略性先导科技专项（A类）“泛第三极环境变化与绿色丝绸之路建设”的支持下，本研究基于“危险性-暴露度-脆弱性”风险评估框架，完成了“一带一路”沿线区域范围千米尺度（图2），以及34个关键节点区域和六大经济走廊百米尺度极端干旱、极端降水、高温热浪和风暴潮风险评估；并初步开展了4个典型节点区域十米尺度的风险评估，如吉大港（图3）[23-33]。

（1）高温热浪在东南亚北部、南亚和阿拉伯半岛风险最为突出，在中国东部、中亚南部、东欧和西亚部分地区风险也较高。34个关键节点区域中，高风险节点仅占9%左右，大部分节点均位于中低风险区。2005—2015年，最大范围热浪风险升高出现在2005—

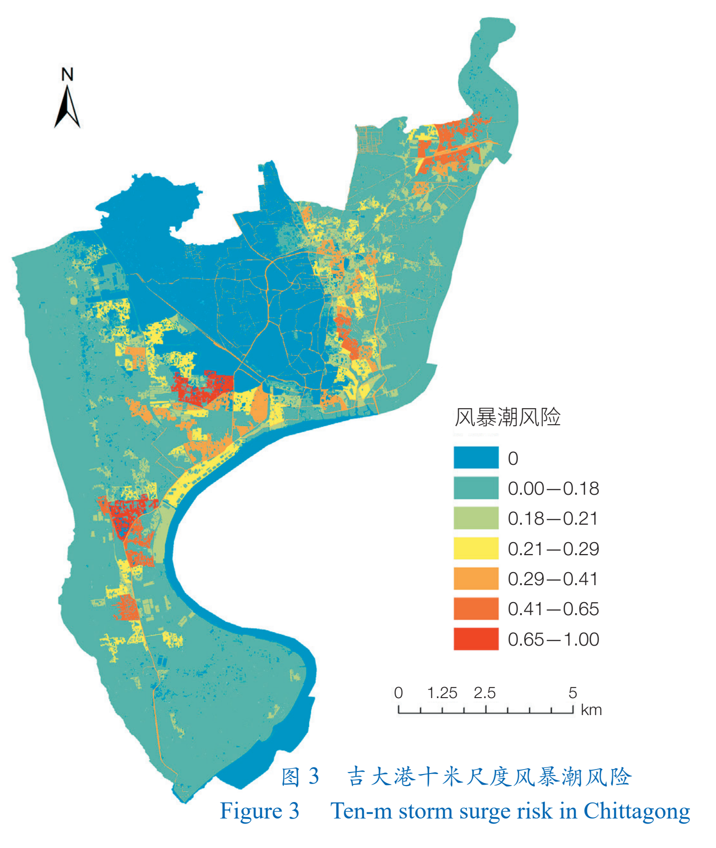


图 3 吉大港十米尺度风暴潮风险
Figure 3 Ten-m storm surge risk in Chittagong

2010年，覆盖了俄罗斯西部及东欧的大部分区域；印度尼西亚高温热浪风险始终呈现出范围不等的升高。致灾因子的危险性是高温热浪的主要影响因素。

（2）极端降水风险区域主要分布在孟加拉国、中国的沿海地区，以及东南亚的雅加达、万隆市的周边区域。34个关键节点区域中，约32%位于高风险区，68%位于中低风险区。2000—2018年，大部分关键节点区域（如雅万高铁、汉班托塔港等11个节点）极端降水风险增加，小部分节点（如皎漂港等6个节点）的风险呈下降趋势；极端降水具有季节性集中、防范能力较弱的特点。

（3）极端干旱高风险区域主要分布于中亚、西亚、北非和欧洲西部，总体上表现出"升—降—升—降"的"震荡"趋势性特征；其中，东欧、中亚受气温升高影响，干旱风险增加，南亚、东南亚受降水增多的影响，干旱风险轻微减小。34个关键节点区域中，18%位于高风险区，剩余的82%均位于中低风险区。极端干旱在不同热量带呈现明显季节性差异，热带、温带、寒带和干旱气候区极端干旱分别集中在秋季、冬季、夏季和夏秋季节。

（4）风暴潮风险区域主要分布在孟加拉湾西北部和中国江浙至广东沿岸。其中，湾口区域同时具有高危险性、高暴露度和高脆弱性，表现出最高风险，且东岸较西岸风险大。发生频次总体呈上升趋势，强度则呈周期性变化。加尔各答—吉大港—仰光港一线的节点区域风暴潮频次较多。34个关键节点区域中，18%位于高风险区，47%位于中低风险区，35%无风暴潮风险。

上述用于风险评估的精细尺度数据达到了同类降尺度或遥感提取数据中的较高精度，评估指标主要基于文献和专家意见，并经过多次论证，兼具合理性和全面性。通过地面实证和同类结果交叉验证，结果表明本研究的危险性、暴露度、脆弱性和风险评估结果均与典型重大历史极端气候事件的发生时间和范围高度吻合，同时在微观尺度上能更精细反映极端气候事件影响程度。尽管本研究评估结果具有科学性和可靠性，然而未来气候变化的不确定性可能会在一定程度上影响风险评估结果的有效性。

3 极端气候风险应对策略

极端气候事件灾害应对方案主要从预测危险性、减少暴露度、降低脆弱性3个方面来规划设计。① 预测危险性的目的是为更准确掌握气候灾害发生的频次、强度、影响范围的变化特征，为制定应对方案提供关键决策信息。② 减少暴露度的目的是在进行生产要素和重大工程项目空间布局时，避免在气候灾害高风险地区进行布局。③ 降低脆弱性是应对方案中最关键的部分，其目的是采取一系列工程（如修建海岸防护堤和挡潮闸）和非工程措施（如建立预警系统和应急预案）以降低承灾体受气候灾害不利影响的倾向或趋势。

针对高温热浪、极端干旱、极端降水和风暴潮4种典型极端气候事件，分别设计了风险应对策略。① 针对高温热浪风险，减少热暴露、提高公众对高温热浪的适应能力是应对高温热浪的主要途径。② 针对极端降水风险，提高排水能力、河道的蓄水及防洪能力，减少脆弱性是主要的应对途径；同时，加强环境监测，加强普通民众的风险意识，购买相应的保险，从而进行风险转移。③ 针对极端干旱风险，缓解干旱状况并提高淡水供应能力等是主要的应对途径；还应大力推进能源基础设施建设，保证在极端干旱风险出现时的电力供应；加快构建防灾减灾体系，结合地区实际情况，建立适于当地的极端干旱预防和应对措施。④ 针对风暴潮风险，提升对风暴潮危险性的预测能力，结合风暴潮风险空间区划，优化重大工程和重点项目的空间布局，减少暴露度。

此外，应系统分析未来不同气候变化情景下短期（到2030年）、中期（到2080年）、长期（到2090

年）各类极端气候事件的危险性及风险的变化。针对不同节点地区的现有风险应对标准，应根据未来风险变化系统评估各地区风险的防御能力，考虑改进高风险地区的工程标准，以进一步确保极端气候事件风险管理安全。

4 结语

本研究完成了“一带一路”沿线区域高温热浪、极端降水、极端干旱和风暴潮 4 类代表性极端气候事件的千米、百米和十米尺度风险评估，实现了对“一带一路”沿线区域 4 类极端气候风险的空间分布、发展趋势、主要影响因素的把握。

该项评估结果为科学、有效应对“一带一路”沿线区域极端气候风险，减少极端气候事件所致人身和财产损失提供更精细、有效的决策支持。在评估结果支持下科学、有效地编制应对方案，能够为“一带一路”沿线关键节点区域的重点工程项目、相关企业和中外机构提供分析报告服务或专项分析服务，并为各投资和管理企业的工程建设、运营管理提供信息支持。未来，在现有成果的基础上，项目组将与“一带一路”沿线国家或地区共建联合研究机构，为更好地开展精细尺度极端气候事件评估和相关区域服务的推广提供国际交流与合作的平台保障。

通过“一带一路”沿线区域典型极端气候事件精细尺度风险评估工作，强化了极端气候事件风险评估的科学问题凝练，实现了境外灾害风险评估和管理中的数据“瓶颈”突破、方法创新和科学分析，提高了极端气候事件风险的多尺度认知，深化了其对社会和经济发展影响的新认识。

参考文献

1 秦大河. 气候变化的事实、影响及对策. 科技和产业, 2002, 2(11): 25-28.

2 秦大河. 进入21世纪的气候变化科学——气候变化的事实、影响与对策. 科技导报, 2004, 22(7): 4-7.

3 Field C B, Barros V, Stocker T F, et al. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

4 Rosa W. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development in a New Era in Global Health. New York: Springer Publishing Company, 2017.

5 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. Geneva: IPCC, 2014.

6 Pachauri R K, Reisinger A. IPCC Fourth Assessment Report. Geneva: IPCC, 2007.

7 Eckstein D, Künzel V, Schäfer L, et al. Global climate risk index 2020. (2019-12-01) [2020-09-19]. https://germanwatch.org/en/17307.

8 Shi P J, Wang J G, Xu W, et al. World atlas of natural disaster risk// World Atlas of Natural Disaster Risk. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015: 309-323.

9 史培军. 中国自然灾害风险地图集. 北京: 科学出版社, 2011.

10 周波涛, 徐影, 韩振宇, 等. “一带一路”区域未来气候变化预估. 大气科学学报, 2020, 43(1): 255-264.

11 Jha S K. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery: A Partnership for Mainstreaming Disaster Mitigation in Poverty Reduction Strategies. Washington DC: The World Bank, 2013.

12 Murnane R, Fraser S, Giovando C, et al. Extensible Data Schemas for Multiple Hazards, Exposure and Vulnerability Data. (2019-12-01)[2020-09-20]. https://www.undrr.org/publication/extensible-data-schemas-multiple-hazards-exposure-and-vulnerability-data.

13 Ling F, Boyd D, Ge Y, et al. Measuring river wetted width from remotely sensed imagery at the subpixel scale with a

deep convolutional neural network. Water Resources Research, 2019, 55(7): 5631-5649.

14 Ling F, Foody G M. Super-resolution land cover mapping by deep learning. Remote Sensing Letters, 2019, 10(6): 598-606.

15 Zhang Y H, Foody G M, Ling F, et al. Spatial-temporal fraction map fusion with multi-scale remotely sensed images. Remote Sensing of Environment, 2018, 213: 162-181.

16 Chen Y H, Zhang R J, Ge Y, et al. Downscaling census data for gridded population mapping with geographically weighted area-to-point regression kriging. IEEE Access, 2019, 7(1): 149132-149141.

17 Ge Y, Jin Y, Stein A, et al. Principles and methods of scaling geospatial Earth science data. Earth-Science Reviews, 2019, 197: 102897.

18 Kummu M, Taka M, Guillaume J H A. Gridded global datasets for gross domestic product and human development index over 1990—2015. Scientific Data, 2018, 5: 180004.

19 Maraun D, Wetterhall F, Ireson A M, et al. Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. Reviews of Geophysics, 2010, 48(3): RG3003.

20 Zhu X X, Tuia D, Mou L C, et al. Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 2017, 5(4): 8-36.

21 Li J, Li Y F, He L, et al. Spatio-temporal fusion for remote sensing data: An overview and new benchmark. Science China Information Sciences, 2020, 63(4): 140301.

22 刘耀龙. 多尺度自然灾害情景风险评估与区划——以浙江省温州市为例. 上海: 华东师范大学, 2011.

23 Li Y, Gong J H, Niu L, et al. A physically based spatiotemporal method of analyzing flood impacts on urban road networks. Natural Hazards, 2019, 97(1): 121-137.

24 Liu Q S. Analysis of grades of the historical heat wave in Djibouti City, Djibouti// DEStech Transactions on Environment, Energy and Earth Sciences. Lancaster: DEStech Publications, Inc., 2019: 31549.

25 Measho S, Chen B Z, Trisurat Y, et al. Spatio-temporal analysis of vegetation dynamics as a response to climate variability and drought patterns in the semiarid region, Eritrea. Remote Sensing, 2019, 11(6): 724.

26 Xu N, Luo J, Sun Y, et al. Extraction of hazard-affected building in coastal area based on deep learning and very-high-resolution image// SiDRR Conference 2019. Beijing: SiDRR, 2019.

27 Dong W, Sun Y, Luo J, et al. Research on fine spatial prediction of social disaster-bearing body based on high resolution remote sensing image// SiDRR Conference 2019. Beijing: SiDRR, 2019.

28 Xiong J, Sun M, Zhang H, et al. Application of the Levenburg-Marquardt back propagation neural network approach for landslide risk assessments. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2019, 19: 629-653.

29 Xiong J N, Ye C C, Cheng W M, et al. The spatiotemporal distribution of flash floods and analysis of partition driving forces in Yunnan Province. Sustainability, 2019, 11(10): 2926.

30 Xiong J N, Yong Z W, Wang Z G, et al. Spatial and temporal patterns of the extreme precipitation across the Tibetan Plateau (1986-2015). Water, 2019, 11(7): 1453.

31 Li Y, Gong J, Hu B. Multisource remotely sensed wetland information exploration using interactive visualization methods// Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Big Data and Internet of Things. New York: Association for Computing Machinery, 2018: 95-99.

32 Zhang Y, Li Q. Delineation of Multi-Hazard Regions and Region-wise Identification of Major Hazard Combinations// SiDRR Conference 2019. Beijing: SiDRR, 2019.

33 武夕琳, 刘庆生, 刘高焕, 等. 高温热浪风险评估研究综述. 地球信息科学学报, 2019, 21(7): 1029-1039.

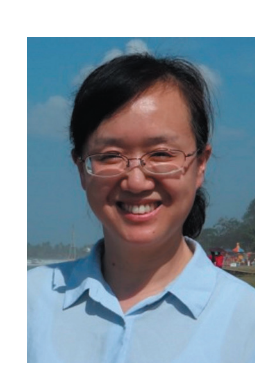
Risk Assessment and Response Strategies for Extreme Climate Events in Key Nodes of the Belt and Road

GE Yong[1*] LI Qiangzi[2] LING Feng[3] ZHANG Yuan[2] YAO Yonghui[1] LIU Qingsheng[1] DONG Wen[2] WU Hua[1] LI Yi[2] REN Zhoupeng[1]

(1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2 Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;
3 Innovation Academy for Precision Measurement Science and Technology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract In the context of global climate change, heat waves, extreme precipitation, extreme droughts and storm surges have increased in most areas of the Belt and Road, which seriously threatens the personal and property safety of countries along the Belt and Road. This study focuses on dealing with the issues associated with the risk identification and assessment of extreme climate events in the "Belt and Road" region, including the coarse or single assessment scale and weak response strategies. It develops a multi-scale extreme climate risk assessment framework, and completes the risk assessment of four representative extreme climate events including heat waves, extreme precipitation, extreme droughts, and storm surges at three scales of 1 km, 100 m, and 10 m. The risk assessment results reveal the spatial distribution, temporal dynamics, and major influencing factors of the 4 types of extreme climate risks in the Belt and Road region. The better understanding of these can provide scientific support for more reasonable and effective response to disasters, reduction and transfer of risks, and reduction of personal and property losses.

Keywords risk assessment, fine-scale, extreme climate risk, Belt and Road, key nodes



葛 咏 中国科学院地理科学与资源研究所研究员、博士生导师，资源与环境国家重点实验室副主任。中国地理学会地图学与地理信息系统专委会主任委员，中国自然资源学会资源制图委员会专委会副主任委员。国家杰出青年科学基金获得者。长期从事地理空间统计学理论与方法研究。*Computers & Geosciences*副主编，*Spatial Statistics*和《地球信息科学学报》编委。E-mail: gey@lreis.ac.cn

GE Yong Professor and Doctorate Supervisor at Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences (CAS). Deputy Director of State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System. She is also the Chairman of Cartography and GIS Commission, the Geographical Society of China and the Deputy Chairman of Resources Mapping Commission, the China Society of Natural Resources. She is sponsored by the National Science Fund for Distinguished Young Scholars of National Natural Science Foundation of China. Dr. Ge's research interests broadly cover the statistical aspects of spatial and spatio-temporal data. Currently she is the Associate Editor-in-Chief of *Computers & Geosciences* and the editor board member of *Spatial Statistics*. E-mail: gey@lreis.ac.cn

■责任编辑：岳凌生

*Corresponding author